

А. Г. Дольник

МИКРОФОНЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Справочная серия

Выпуск 497

А. Г. ДОЛЬНИК

МИКРОФОНЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.395.61 (033)
Д 65

В брошюре дается краткое описание принципа работы различных микрофонов, приводятся данные типовых промышленных микрофонов, имеющих наиболее широкое применение, излагаются основные правила эксплуатации микрофонов в профессиональных системах и даются рекомендации для любительского их применения.

Рассчитана брошюра на широкие круги радиолюбителей.

СОДЕРЖАНИЕ

Дольник Анатолий Григорьевич
Микрофоны. М.—Л., Издательство „Энергия", 1964.
24 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 497)
Темплан 1964 г. № 385

Редактор *Ф. И. Тарасов* Техн. редактор *Н. А. Бульдяев*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 6/IX 1963 г. Подписано к печати 17/XII 1963 г.
Т 14 900 Бумага 84×108[1]/32 1,23 п. л. Уч.-изд. л. 1,6
Тираж 100 000 экз. Цена 06 коп. Заказ 508

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати
Шлюзовая наб., 10.

КЛАССИФИКАЦИЯ, ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОФОНОВ

Микрофон служит приемником звука, преобразующим звуковые колебания в электрические. По способу преобразования применяемые в настоящее время микрофоны подразделяются на следующие основные типы: 1) индукционные, которые в свою очередь делятся на динамические или катушечные и ленточные; 2) конденсаторные или электростатические; 3) пьезоэлектрические; 4) электромагнитные и 5) угольные.

Микрофоны, как и любые другие технические приборы, характеризуются определенными параметрами, позволяющими судить об их качестве и пригодности для различных случаев применения. Основными параметрами микрофона являются осевая чувствительность, диапазон частот и неравномерность частотной характеристики, сопротивление номинальной нагрузки. При эксплуатации микрофона следует, кроме того, учитывать его характеристику направленности, которая зависит в основном от типа микрофона и его конструктивных особенностей и относительный уровень собственных шумов. Что же касается нелинейных искажений, то они для большинства перечисленных выше типов микрофонов, кроме угольных, весьма малы, если, конечно, диапазон звуковых давлений не превышает обычных существующих нормальных величин.

Чувствительность. Отношение величины напряжения, развиваемого микрофоном на сопротивлении нагрузки (равном сопротивлению номинальной нагрузки микрофона) к величине звукового давления, воздействующего на диафрагму микрофона (в точке, где должен находиться центр звуковоспринимающей поверхности), называется ч у в с т в и т е л ь н о с т ь ю микрофона и измеряется в милливольтах на ньютон на квадратный метр ($мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$) *.

Чувствительность микрофонов часто измеряют в режиме «холостого хода», когда сопротивление нагрузки во много раз превышает внутреннее сопротивление микрофона, а развиваемое напряжение почти равняется э. д. с. Однако при этом нельзя сравнивать чувствительности микрофонов, имеющих различные внутренние сопротивления, поэтому за меру чувствительности микрофонов принимается

* В новой международной системе единиц СИ за единицу звукового давления принят ньютон на квадратный метр ($н/м^2$), численно равный 10 *дин/см²*, или 10 *бар*.

стандартный уровень чувствительности (передачи) микрофона N (в децибелах), измеренный относительно нулевого уровня электрической мощности ($N_0=1$ *мвт*) и определяемый по формуле

$$N = 10 \lg \frac{E^2 10^{-1}}{Z_н} = 20 \lg E - 10 \lg Z_н - 10,$$

где E — чувствительность микрофона, $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$;

$Z_н$ — сопротивление нагрузки, равное его внутреннему, номинальному сопротивлению, *ом*.

Зная величину N, т. е. абсолютный уровень мощности, отдаваемой микрофоном на сопротивление номинальной нагрузки при воздействии на него давления в 1 $н/м^2$, можно уже сравнивать эффективность работы микрофонов с различными внутренними сопротивлениями.

Обычно определяется осевая чувствительность микрофона, как правило, всегда наибольшая. Она измеряется при падении синусоидальной звуковой волны по направлению акустической (рабочей) оси микрофона. В случае осевой симметрии в конструкции микрофона ось симметрии совпадает с акустической осью. В других случаях акустической осью называют направление преимущественного использования микрофона в нормальных условиях эксплуатации, оговоренных в ГОСТ или ТУ на микрофон данного типа.

Частотная характеристика. Чувствительность микрофона (уровень передачи) в той или иной мере зависит от частоты. Графическое изображение этой зависимости в некотором определенном номинальном диапазоне частот называется частотной характеристикой. Устанавливаемый ГОСТ или ТУ номинальный частотный диапазон, а также допуск на неравномерность частотной характеристики в этом диапазоне являются важнейшими качественными показателями.

Неравномерностью частотной характеристики называется выраженное в децибелах отношение максимального значения чувствительности к минимальному, измеренных в пределах номинального диапазона частот. Средняя чувствительность микрофона вычисляется как среднее арифметическое из значений осевой чувствительности на определенных частотах, которые располагаются внутри номинального (рабочего) диапазона, установленного ГОСТ или ТУ на испытуемый тип микрофона.

Сопротивление номинальной нагрузки. Сопротивление нагрузки, оговоренное в ГОСТ или ТУ на соответствующий тип микрофона, обеспечивающее его параметры, установленные там же, называется номинальным. Для максимальной отдачи (по мощности) номинальное сопротивление нагрузки должно равняться полному внутреннему сопротивлению микрофона.

Характеристика направленности. Зависимость чувствительности микрофона на данной частоте от угла между акустической (рабочей) осью и направлением на источник звука, изображенная на графике (обычно в полярных координатах), называется характеристикой направленности. Последняя зависит от устройства звукоприемной части микрофона, при этом различают две разновидности — приемники давления и приемники градиента давления или скорости. Если сила, возникающая в результате действия

звукового поля, по конструктивным особенностям может воздействовать только на одну сторону подвижной системы (диафрагмы) микрофона, то такой микрофон будет приемником давления. Если же в микрофоне открыты обе стороны подвижной системы, которая в этом случае реагирует на разность звуковых давлений, возникающих по обе стороны диафрагмы, то такой микрофон будет работать как приемник градиента давления или скорости.

Микрофон-приемник давления не обладает резко выраженной направленностью и имеет, особенно в области низших частот, круговую характеристику направленности (рис 1,*а*). С повышением час-

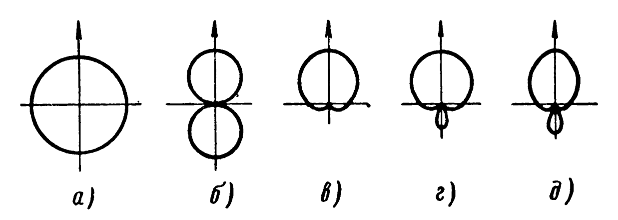


Рис. 1. Основные виды характеристик направленности микрофонов.

а — круговая; *б* — восьмерка; *в* — кардиоида; *г* — суперкардиоида; *д* — гиперкардиоида.

тоты она принимает вытянутую форму. Чем меньше габариты микрофона, тем при более высоких частотах начинает вытягиваться его характеристика направленности, что объясняется явлением дифракции, т. е. способностью звуковых волн огибать корпус микрофона, когда его размеры становятся соизмеримыми с длиной волны.

Микрофоны градиента давления или скорости имеют характеристику направленности в виде восьмерки (рис. 1,*б*) и таким образом обладают двусторонней направленностью. Комбинируя электрическую схему соединения двух микрофонов давления и скорости при предельно близком расположении их друг к другу, можно добиться значительного изменения характеристики направленности, делая ее однонаправленной в виде кардиоиды (рис. 1,*в*), суперкардиоиды (рис. 1,*г*) или гиперкардиоиды (рис. 1,*д*). Комбинированный микрофон можно осуществить не только электрическим соединением двух различных приемников, но и путем создания специальной механико-акустической системы в единой конструкции (акустически комбинированный приемник).

Комбинированные микрофоны с однонаправленными характеристиками имеют широкое применение. Они совершенно необходимы в тех случаях, когда полезный звук воспроизводится с одной стороны (фронтальной), а с другой стороны (тыловой) всегда имеется вредный шум. Такая обстановка характерна для телевизионных студий и киностудий, а также при внестудийных передачах. Для помещений с системой звукоусиления правильный подбор характеристики направленности и соответствующее расположение микрофона часто позволяют избежать акустической обратной связи.

Сочетанием двух комбинированных микрофонов можно создать приемник с остронаправленной характеристикой, значительно улуч-

шающей передачу из помещений и мест с очень высоким уровнем шума.

Эффективность односторонне-направленных микрофонов определяется отношением «фронт/тыл», т. е. отношением среднеарифметических значений фронтальной чувствительности микрофона к такой же тыловой. Если эти среднеарифметические значения выражены в децибелах, то для вычисления в децибелах отношения «фронт/тыл» следует взять их разность

Уровень собственных шумов. Незначительные изменения (флуктуации) давления воздуха вокруг микрофона, не зависимые от звуковых колебаний, вместе с тепловым шумом сопротивлений в электрических цепях микрофона создают на его выходе эффективное шумовое напряжение $U_ш$. Уровень этого шума $N_ш$ обычно определяется относительно эффективного напряжения U_0, развиваемого микрофоном под действием звукового сигнала в 0,1 *н/м*² (эффективное значение), по формуле

$$N = 20 \lg \frac{U_ш}{U_0}.$$

У большинства промышленных типов микрофонов этот уровень мал (—50 *дб* и меньше), а потому обычно не нормируется. Однако для высококачественных трактов оценивать его необходимо.

МИКРОФОНЫ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Динамические катушечные микрофоны. Наиболее широкое распространение в практике получили динамические (катушечные) микрофоны. Звукоприемником в них служит куполообразная диафрагма из тонкой полистироловой пленки (в старых типах применялась алюминиевая фольга). Диафрагма жестко связана с звуковой катушкой, находящейся в радиальном зазоре магнитной системы. Катушка наматывается тонким проводом (до 0,02 *мм*), причем наряду с медным (марки ПЭЛ) часто применяется алюминиевый провод. Основные электрические и конструктивные данные наиболее распространенных типов динамических (катушечных) микрофонов приведены в приложении.

Достоинством этих микрофонов являются достаточно удовлетворительные электрические параметры, небольшие габариты, малый вес и ряд других свойств, позволяющих применять их в различных эксплуатационных условиях.

Старые типы таких микрофонов (например, МД-30, МД-38) снабжены выходными трансформаторами, встроенными в кожух или подставку. Вторичная обмотка трансформатора имеет отвод, что позволяет иметь два-три значения выходного сопротивления. Более современные микрофоны имеют подвижную катушку с сопротивлением, близким к номинальному выходному, и используются без трансформаторов.

По характеристике направленности все динамические (катушечные) микрофоны можно подразделить на два вида: ненаправленные (с круговой характеристикой) и однонаправленные (с кардиоидной характеристикой).

К первому виду относится одна из последних моделей — микрофон типа МД-59, внешний вид которого показан на рис. 2. Его типовые характеристики направленности на ряде частот приведены на рис. 3, из которого видно, что строго ненаправленным такой микрофон можно считать примерно до 1 000 *гц*. Частотная характеристика чувствительности микрофона МД-59 (рис. 4) имеет широкий диапазон (от 50 до 15 000 *гц*) с малой неравномерностью (порядка 7—8 *дб*), что позволяет использовать его для студийного и транс-

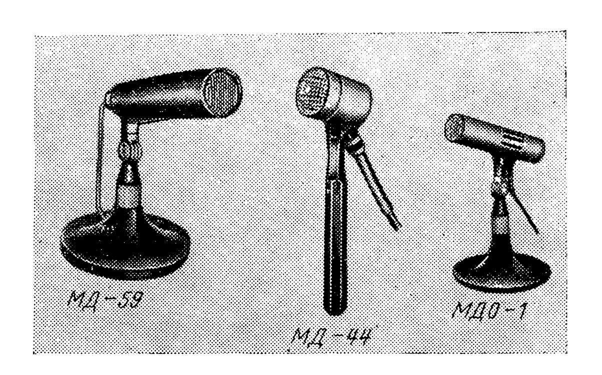


Рис. 2. Динамические (катушечные) микрофоны МД-59, МД-44 и МДО-1 (показаны не в одном масштабе).

ляционного радиовещания, профессиональной звукозаписи и звукоусиления в театрах и концертных залах.

Ко второму виду однонаправленных микрофонов, имеющих особую механико-акустическую систему, относится микрофон типа МД-44, предназначенный для речевых передач (или звукоусиления) из помещений с повышенным уровнем шума или большим временем реверберации. Внешний вид этого микрофона в репортажном оформлении показан на рис. 2. Отвинтив ручку, можно укрепить его на напольной или настольной стойке так же, как и всякий другой тип микрофона (резьба винтового шарнира стандартизирована и имеет диаметр 20 *мм*). Характеристики направленности микрофона МД-44 (рис. 3) на всех частотах приближаются по своему виду к кардиоиде. Частотная характеристика этого микрофона как речевого неширокая — 100—8 000 *гц* с заметным понижением в области низших частот, что способствует лучшей артикуляции (разборчивости) речи. На рис. 4 показаны частотные характеристики микрофона МД-44, снятые с фронтальной стороны и с тыловой. Последняя из них в области низших и средних частот лежит значительно ниже, чем первая, что и обусловливает шумозащитные свойства микрофона (наиболее интенсивные компоненты шума обычно приходятся на эту область частот).

Дальнейшим развитием однонаправленных микрофонов является тип МДО-1 (рис. 2), представляющий собой объединенную кон-

струкцию из двух микрофонов МД-44. Расстояние между их диафрагмами, направленными соосно в одну сторону, составляет 100 *мм*.

Из электрической схемы микрофона МДО-1, приведенной на рис. 5, видно, что составляющие ее микрофоны МД-44 соединены последовательно и противофазно. Один из микрофонов (задний) шунтирован конденсатором емкостью 0,5 *мкф*, который как бы от-

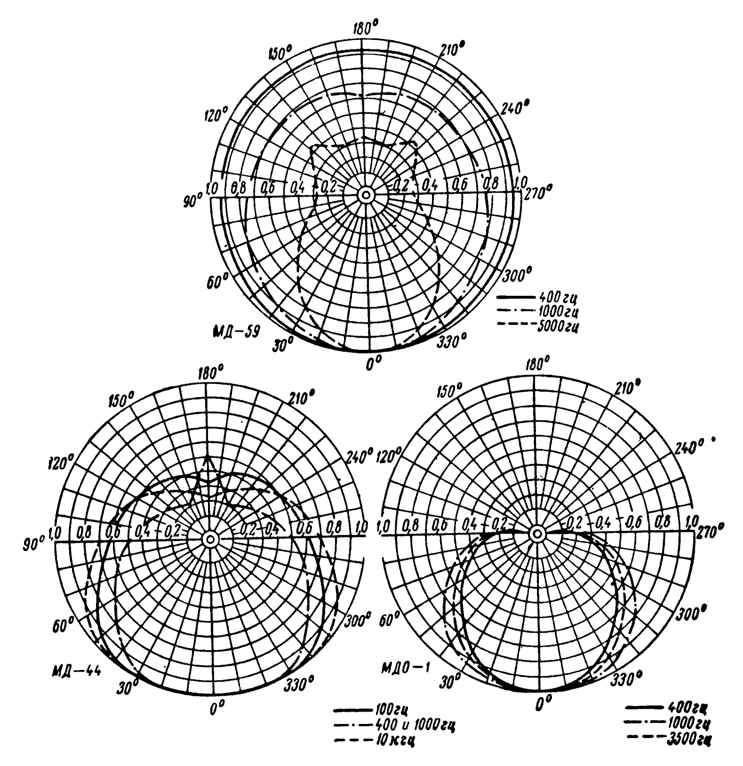


Рис. 3. Типовые характеристики направленности микрофонов МД-59, МД-44 и МДО-1.

ключает его на высших частотах, когда характеристика одного микрофона МД-44 достаточно острая. Для снижения чувствительности в области средних частот с целью выравнивания частотной характеристики параллельно входу подключена фазокорректирующая цепочка, катушка индуктивности которой намотана таким проводом, чтобы сопротивление ее было 100 *ом*. Все эти детали находятся внутри корпуса микрофона.

Характеристика направленности микрофона МДО-1 приведена на рис. 3. Этот микрофон может применяться для речевых передач или звукоусиления при большом уровне шума. Его частотная ха-

рактеристика (рис. 4) также неширокая, с еще бо́льшим понижением чувствительности к низшим частотам, чем у микрофона МД-44.

Ленточные и комбинированные микрофоны. Внешний вид, габариты, вес и конструкция ленточных микрофонов значительно отли-

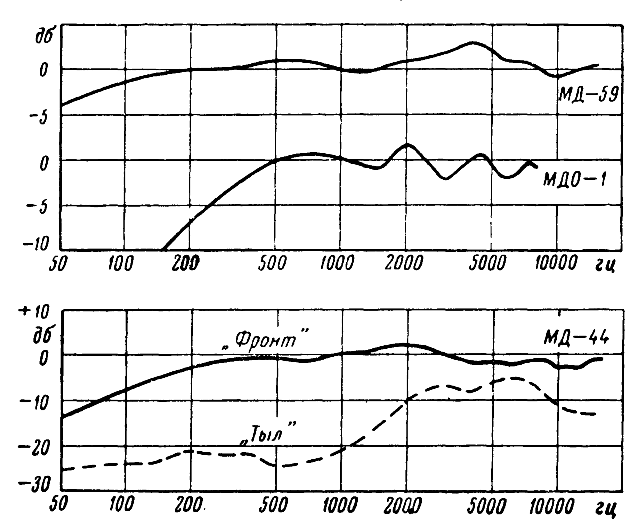


Рис. 4. Частотные характеристики микрофонов МД-59, МДО-1 и МД-44 (по «фронту» и «тылу»).

чаются от динамических (катушечных), хотя индукционный принцип действия и тех и других один и тот же. Звукоприемником в ленточном микрофоне служит гофрированная ленточка из очень тонкой (порядка 0,002 *мм*) алюминиевой фольги. Эта ленточка располагается в верхней части микрофона в плоской (рабочей) щели магнитной системы и закрывается перфорироваа ным кожухом. Она подключается к первичной обмотке согласующего трансформатора, приводящего ее низкое электрическое сопротивление к номинальному рабочему. Трансформатор располагается обычно под магнитной системой в корпусе микрофона и представляет с ним единое целое.

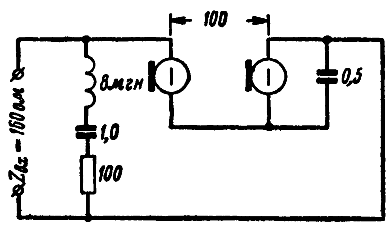


Рис. 5. Электрическая схема остронаправленного микрофона МДО-1.

Конструкция ленточных микрофонов с двухсторонней открытой ленточкой типична для приемников градиента давления или скорости. К ним относится микрофон типа МЛ-15, имеющий характеристики направленности (рис. 6) в виде восьмерок (косинусоиды),

почти не зависимые от частоты. Чувствительность его такого же порядка, как у катушечных микрофонов, а частотная характеристика (рис. 7) имеет примерно такой же широкий диапазон (от 50 до 10 000 *гц*) и лучшую неравномерность (менее 5 *дб*).

Помимо чисто скоростного ленточного микрофона существуют и комбинированные типы ленточных микрофонов с кардиоидной характеристикой направленности. Наиболее просто это осуществляется электрическим соединением в одной конструкции двух микрофонов ленточного приемника скорости и катушечного приемника давления (микрофоны типа 10А-1, МДЛ). Такой способ позволяет легко осуществлять электрическое переключение характеристики направленности: если включить только один катушечный микрофон, то будет круговая характеристика; с одним ленточным микрофоном характеристика будет в виде восьмерки, а оба этих последовательно соединенных микрофона при соответствующей фазировке дадут кардиоидную характеристику.

В более современных микрофонах комбинирование приемников давления и скорости осуществляется акустическим путем. С одной (задней) стороны ленточка наполовину закрывается, а образуемая полость соединяется со специальной трубкой, заполненной комочками ваты. Таким образом, эта половина ленточки, имеющая своеобразную «бесконечную нагрузку» (лабиринт), будет работать приемником давления, а открытая ее половина—приемником скорости. В целом же такой микрофон будет иметь кардиоидную характеристику направленности. Микрофон этого типа — МЛ-17 имеет характеристики направленности, изображенные на рис. 6, а частотную характеристику — на рис. 7.

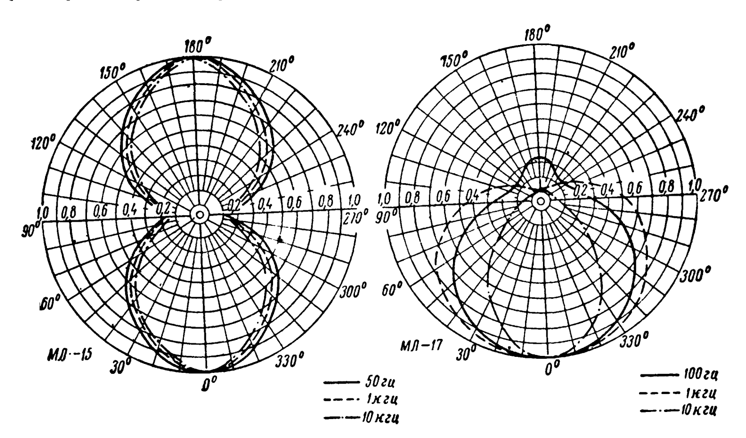


Рис. 6. Типовые характеристики направленности микрофонов МЛ-15 и МЛ-17.

Ленточным микрофонам и вообще всем приемникам градиента давления свойствен так называемый «эффект ближней зоны», вызываемый возрастанием чувствительности на низших частотах в случае расположения их вблизи от источника звука. Поэтому во избежание подчеркивания низших частот исполнителей следует

размещать на расстоянии не менее 0,8—1 *м* от таких микрофонов. Для ослабления этого эффекта в ленточных микрофонах часто предусматривается электрическая коррекция — дроссель, шунтирующий первичную обмотку выходного трансформатора для снижения отдачи в области низших частот.

Ленточные микрофоны сравнительно тяжелы и громоздки. Они в основном предназначаются для музыкальных передач из студий и других закрытых помещений. При внестудийных условиях их следует тщательно оберегать от воздействия ветра из-за возможности обрыва ленточки.

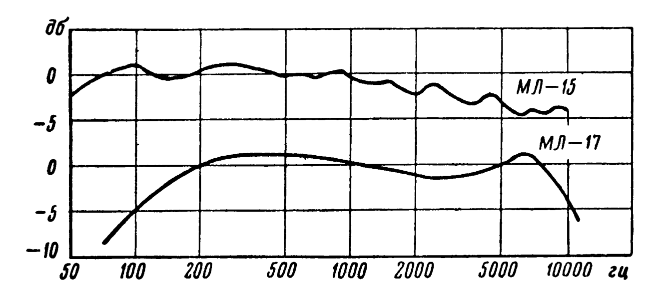


Рис. 7. Частотные характеристики микрофонов МЛ-15 и МЛ-17.

Конденсаторные микрофоны. Весьма высокая чувствительность, а также широкополосная и равномерная частотная характеристика отличают конденсаторные микрофоны от других типов. А если к этому прибавить еще возможность легко и даже дистанционно в широких пределах изменять характеристику направленности, то станет понятным широкое распространение в настоящее время конденсаторных микрофонов в высококачественных системах радиовещания и звукозаписи.

Звукоприемник, или капсюль конденсаторного микрофона, представляет собой плоский воздушный конденсатор, у которого одна обкладка служит мембраной, воспринимающей звуковые колебания. Выполняется эта обкладка из тонкой (20—30 *мк*) дюралюминиевой фольги или из еще более тонкой металлизированной с одной стороны полимерной пленки. Вторая обкладка, массивная и неподвижная, располагается с небольшим зазором (20—40 *мк*). Такой капсюль может быть небольших габаритов с емкостью порядка нескольких десятков пикофарад.

Капсюль конденсаторного микрофона *М* включается в схему (рис 8,*а*) последовательно с нагрузочным сопротивлением $R_н$ и источником постоянного (поляризующего) напряжения *Б*. Принцип действия конденсаторного микрофона заключается в том, что когда под действием звуковой волны мембрана колеблется, то изменяется емкость капсюля, а следовательно и ток в цепи. При возрастании емкости возникает ток заряда, а при ее уменьшении—ток разряда; таким образом, в цепи будет протекать переменный ток, создающий на сопротивлении нагрузки $R_н$ переменное напряжение, соответствующее звуковому давлению на мембране капсюля. Чтобы при

малой емкости капсюля чувствительность конденсаторного микрофона не снижалась даже на самых низших частотах (30—50 *гц*), когда емкостное сопротивление капсюля наибольшее, нагрузочное сопротивление должно быть очень большим (до 100 *Мом* и более).

При малой емкости капсюля и большом нагрузочном сопротивлении исключается обычное присоединение микрофона к усилителю даже сравнительно коротким кабелем (1,5—2 *м* и более), иначе резко упадет чувствительность микрофона и возрастет уровень собственного шума и наводимых помех, поэтому в конструкцию конденсаторного микрофона всегда входит ламповый согласующий каскад,

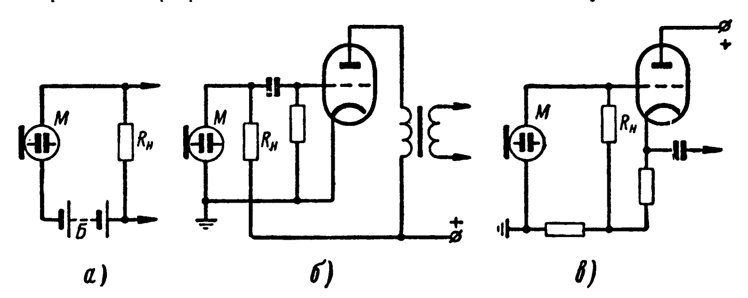


Рис. 8. Электрические схемы конденсаторных микрофонов.
а — принципиальная схема включения капсюля; *б* — трансформаторная схема согласующего каскада; *в* — согласующий каскад по схеме катодного повторителя.

выполняемый либо по трансформаторной схеме (рис. 8,*б*), либо по схеме катодного повторителя (рис. 8,*в*). Для питания этого каскада и подачи на капсюль поляризующего напряжения (порядка 50—100 *в*) в комплект конденсаторного микрофона всегда входит отдельное специальное питающее устройство, наличие которого несколько понижает эксплуатационные качества конденсаторных микрофонов по сравнению с микрофонами других типов.

Студийный конденсаторный микрофон типа 19А-4 имеет две характеристики направленности: одну круговую, а другую близкую к кардиоиде, осуществляемую акустическим способом. Их переключение производится поворотом экрана из органического стекла, надетого на капсюль микрофона, при этом открываются или закрываются отверстия в корпусе капсюля. При открытых отверстиях на тыльную сторону мембраны будут воздействовать звуковые колебания, прошедшие через специальную механико-акустическую систему, и характеристика направленности будет в виде кардиоиды, а при закрытых отверстиях она становится круговой. Частотные характеристики микрофона 19А-4 для обоих видов направленности (рис. 9) лежат в диапазоне 50—12 000 *гц* при неравномерности не более 10 *дб*.

Высокие параметры конденсаторных микрофонов при малых габаритах капсюля определяют их особую пригодность для акустических измерений. Так, например, специально для измерительных целей предназначается микрофон МК-5, имеющий круговую характеристику направленности.

В приложении приводятся основные параметры и некоторые конструктивные данные большинства типов микрофонов, многие из которых уже ряд лет выпускаются нашей промышленностью и находят широкое применение.

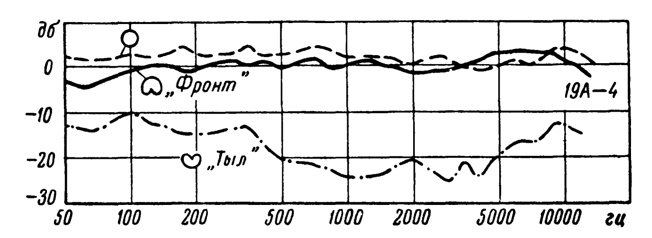


Рис. 9. Частотные характеристики микрофона 19А-4 (по «фронту» и «тылу»).

Эксплуатация и хранение микрофонов. При эксплуатации микрофоны укрепляются на стойке или штативе различной длины: короткой, если микрофон устанавливается на столе или кафедре, и длинной при установке на полу. В больших студиях микрофоны подвешиваются на «журавли»—специальные устройства, позволяющие передвигать их в различные точки студии даже во время передачи.

Микрофоны весьма чувствительны к малейшим вибрациям, сотрясениям, толчкам, которые могут возникать в помещении, где установлен микрофон, и передаваться через строительные конструкции и другие предметы, соприкасающиеся с микрофоном, поэтому последний должен быть надежно амортизован. Особенно тщательно следует амортизировать микрофоны, работающие на «журавлях» и в других условиях, когда микрофон не может быть неподвижным (например, в телестудиях). При установке и при перевозке следует предохранять микрофоны от ударов и резких сотрясений.

По окончании работы на динамические (катушечные) микрофоны необходимо надеть чехол, предохраняющий от попадания в него пыли и железных опилок. Храниться они должны в помещении с относительной влажностью воздуха не выше 80% и температурой не ниже +5° С. Однако по сравнению с другими типами (ленточными, конденсаторными и др.) эти микрофоны более устойчивы к сотрясениям, а также к изменениям температуры и влажности.

Условия эксплуатации и хранения ленточных микрофонов в основном такие же, но наличие весьма тонкой и свободно висящей ленточки требует еще большей осторожности, чтобы она не провисла. Ленточный микрофон следует держать всегда в вертикальном положении на подставке, стойке и т. п. и хранить только в футляре.

Конденсаторные микрофоны во время эксплуатации находятся под напряжением, поэтому двигать, переставлять и даже переносить их рекомендуется только при отключенном питании. Располагать конденсаторные микрофоны и их соединительные кабели следует возможно дальше от линий переменного тока. По окончании работы и выключении питания на микрофон необходимо надеть спе-

циальный предохранительный чехол. При длительных перерывах в работе весь комплект микрофона укладывается в специальный футляр (чемодан), который хранится в таких же условиях, как и все остальные типы микрофонов.

Осторожное обращение с микрофонами необходимо и во время обычных проб перед работой. Ни в коем случае не следует дуть в микрофон; достаточно слегка постучать по корпусу карандашом или ногтем и негромко сказать несколько слов на расстоянии 10—15 *см*.

Ремонт микрофонов при неисправности капсюля не следует производить в той же мастерской, где ремонтируется другая аппаратура. Он требует высокой и узкоспециальной квалификации мастера-регулировщика и должен выполняться в условиях абсолютной чистоты, при наличии особых приспособлений, соответствующих материалов и запасных деталей.

МИКРОФОНЫ ДЛЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИХ УСТРОЙСТВ

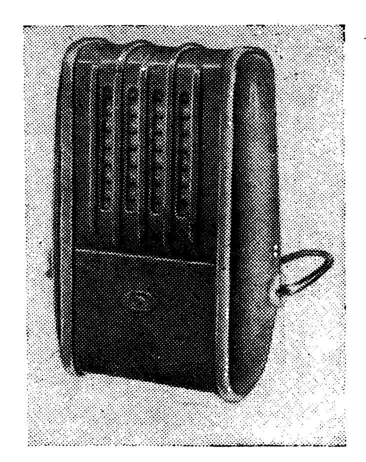
Радиолюбители применяют микрофоны в магнитофонах, на любительских (самодельных) радиоузлах, в коротковолновых и ультракоротковолновых передатчиках. Последние часто конструируются малогабаритными (переносными), и к ним поэтому необходим соответствующий малогабаритный микрофон.

Динамические микрофоны. В стационарных устройствах пригодны многие типы микрофонов, о которых говорилось выше. Однако сравнительно большая стоимость и высокие эксплуатационные требования ограничивают возможности применения в любительских условиях некоторых наиболее чувствительных и сложных типов микрофонов. Между тем более низкие технические требования к любительской аппаратуре вполне допускают работу с простыми и дешевыми динамическими микрофонами, такими, например, как МД-41 и МД-47. Внешний вид этих микрофонов показан на рис. 10, а общие параметры и некоторые конструктивные данные приведены в приложении. Типовая частотная характеристика лучшего из этих микрофонов — МД-47 дана на рис. 11.

Кроме указанных, часто применяются и другие типы динамических микрофонов, например такие, как МД-42, МД-46 и МД-55. Основное отличие их от специально выпускаемых для любительских целей микрофонов МДМ-1, МД-41 и МД-47 заключается в отсутствии выходного трансформатора, вследствие чего они имеют низкоомный выход (обычно 250 *ом*) и малую чувствительность.

Применять динамические микрофоны без выходных трансформаторов нецелесообразно, так как их недостаточную чувствительность приходится компенсировать в усилителе. Повышающий микрофонный выходной трансформатор, предназначенный для работы на высокоомный вход лампового усилителя, должен иметь коэффициент трансформации не менее 20—25. Так, например, трансформатор микрофона МД-41 имеет коэффициент 25; его первичная обмотка содержит 140 витков провода ПЭЛШО 0,25, а вторичная—3 500 витков ПЭВ 0,13. Сердечник изготовляется из пермаллоевой ленты, свернутой кольцом; ширина ленты 9, внутренний диаметр сердечника 25, а внешний 65 *мм*.

Микрофонные трансформаторы чрезвычайно чувствительны к внешним магнитным и электрическим полям, индуцирующим во входные цепи фон и другие помехи. Для защиты от этих помех и применяется тороидальный или кольцевой сердечник, намотка ведется строго симметрично и, кроме того, весь трансформатор хорошо и тщательно экранируется толстостенным (до 5—8 *мм*) экраном из пермаллоя или специальных мягких сортов стали.



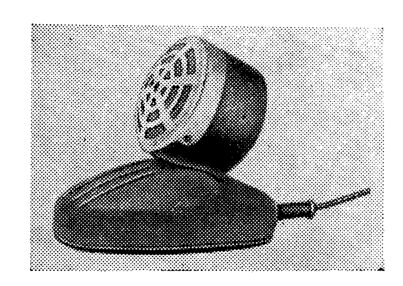


Рис. 10. Динамические катушечные микрофоны для любительской звукозаписи МД-41 (слева) и МД-47 (справа).

Вместо трансформатора можно с успехом применить автотрансформатор, позволяющий более выгодно заполнить окно сердечника проводом и дающий лучшую частотную характеристику в области высших частот. Однако и в нем следует симметрировать обмотку. Так, например, сделано в микрофоне МД-47, где применен автотрансформатор на сердечнике из пластин Ш-10 × 5 *мм* с первичной обмоткой 40+40 витков (со средней точкой), последовательно с которой включена вторичная обмотка из 3 000 витков. Намотка сделана подряд, вразброс проводом ПЭЛ 0,07. Звуковая катушка микрофона подключается к первичной обмотке (80 витков), средняя точка которой соединяется с экраном (шасси, заземляющая шина), чем и достигается симметрирование.

Соединительный кабель для микрофонов должен быть не очень длинным (1—1,5 *м*), малоемкостным и хорошо экранированным. Не рекомендуется использовать экранную оплетку (броню) в качестве токопроводящего провода. Экран кабеля должен соединяться с корпусом микрофона и на входе усилителя (в одной точке) с шасси (экраном) или общей заземляющей шиной.

К микрофонам, применяемым в переносных малогабаритных устройствах, предъявляются еще более пониженные требования: они должны лишь обеспечить достаточную разборчивость (артикуляцию) речи. Этому требованию удовлетворяют весьма простые

по конструкции и малогабаритные микрофоны с металлической диафрагмой (мембраной), обычно работающие в аппаратуре местной или междугородной телефонной связи и других специальных устройствах (например, в слуховых аппаратах для тугоухих). Такие микрофоны подразделяются на пьезоэлектрические, электромагнитные и угольные.

Пьезоэлектрические микрофоны. Для преобразования звуковых колебаний в электрические используется также пьезоэлектрический эффект, выражающийся в том, что при деформации некоторых кристаллов на их поверхности возникают электрические заряды, величина которых пропорциональна деформирующей силе. Наибольшим

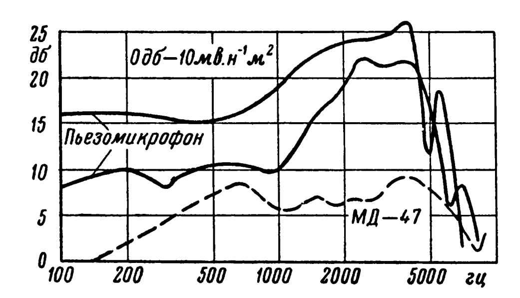


Рис. 11. Частотные характеристики динамического микрофона МД-47 и пьезомикрофонов от слуховых аппаратов.

пьезоэффектом обладают кристаллы сегнетовой соли. Вырезанные особым образом пластинки из искусственно выращенных таких кристаллов и служат основным рабочим элементом пьезомикрофонов.

По своим электроакустическим и эксплуатационным свойствам пьезомикрофоны не могут обеспечить требований, предъявляемых к профессиональным студийным и трансляционным микрофонам. Однако такие их достоинства, как простота устройства, малый вес и габариты, а также небольшая стоимость, определили их применение в любительских устройствах и некоторых типах промышленной недорогой аппаратуры. Так, например, в слуховых аппаратах для тугоухих применялись пьзоэлектрические микрофоны с пластинками из кристаллов сегнетовой соли, отличающиеся простотой конструкции, малым габаритом и весом, дешевизной и относительно высокой чувствительностью. Эти качества долгое время обеспечивали почти исключительное применение их в слуховых аппаратах с усилителем на миниатюрных радиолампах.

К недостаткам пьезомикрофонов следует отнести высокое внутреннее сопротивление, имеющее емкостный характер, значительную неравномерность частотной характеристики, недостаточную эксплуатационную надежность (хрупкость, гигроскопичность) и зависимость параметров от температуры. На рис. 11 показаны две примерные частотные характеристики пьезомикрофонов от слуховых аппаратов в сравнении с частотной характеристикой динамического микрофона

МД-47. Как видно из этого рисунка, пьезомикрофоны имеют среднюю чувствительность от 50—60 до 80—100 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$ со значительным подъемом в области 2—4 *кгц* (собственный резонанс диафрагмы), где чувствительность доходит до 200 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$, а в некоторых экземплярах и еще больше.

По форме частотной характеристики и значению чувствительности разные экземпляры пьезомикрофонов имеют значительный разброс. Для нормальной работы такие микрофоны должны подклю-

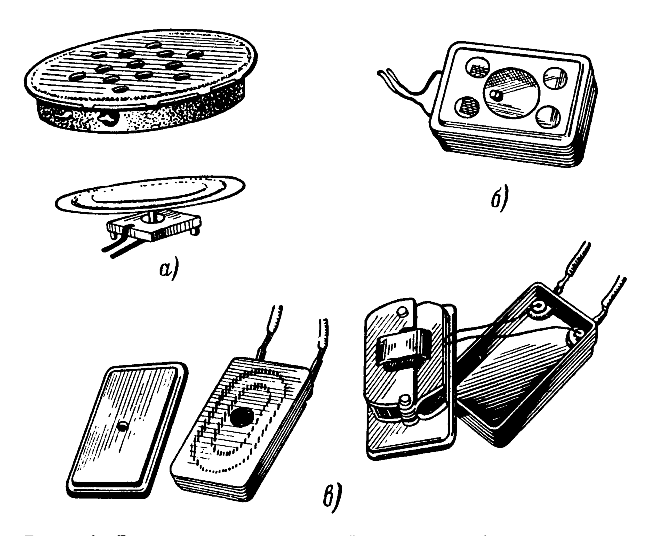


Рис. 12. Внешний вид и устройство микрофонов от слуховых аппаратов.

а — пьезомикрофон от аппарата «Звук»; *б* — пьезомикрофон от аппаратов «Слух» и «Кристалл»; *в* — электромагнитный микрофон М1.

чаться на нагрузку не менее 3—5 *Мом* и размещаться в непосредственной близости к микрофонному (входному) каскаду усилителя.

Выпускаются два типа пьезомикрофонов: круглые (диаметром 35 и высотой 6 *мм*) от слухового аппарата «Звук» и прямоугольные (размерами 22,5 × 16 × 6 *мм*) от аппаратов «Слух» и «Кристалл». Вес таких микрофонов небольшой (порядка 10—15 *г*). Емкость пьезоэлементов порядка 500—1 500 *пф*. В круглом микрофоне внутри вмонтировано сопротивление в 5 *Мом*, подключенное к выводным контактам. Внешний вид этих микрофонов показан на рис. 12, *а* и *б*.

Электромагнитные микрофоны. Высокое внутреннее сопротивление пьезомикрофонов оказалось особенно неудобным при работе с транзисторными усилителями, которые обычно имеют низкое входное сопротивление. Для таких усилителей весьма подходящими оказались электромагнитные микрофоны, имеющие к тому же более высокие эксплуатационные свойства.

Принцип работы электромагнитной системы состоит в том, что колеблющийся якорь из мягкой или специальной стали воздействует на магнитное поле, образованное постоянным магнитом. Якорь находится в рабочем зазоре магнитной системы. Он жестко связан с диафрагмой, воспринимающей звуковые колебания, а поэтому, колеблясь вместе с ней, вызывает колебания магнитного поля. В результате такого процесса в катушке, намотанной поверх якоря или полюсных наконечников и расположенной в том же магнитном поле, возникают электрические колебания, соответствующие звуковым колебаниям, воздействующим на диафрагму.

Для транзисторных слуховых аппаратов выпускается малогабаритный электромагнитный микрофон типа М1 (рис. 12,*в*) прямоугольной формы, размерами 24×16 *мм* и весом порядка 10—15 *г*, похожий по виду на прямоугольный пьезомикрофон. Относительная частотная характеристика такого электромагнитного микрофона (относительно чувствительности на 1 000 *гц*) показана на рис. 15. Абсолютная чувствительность зависит от количества витков обмотки, определяющих также и внутреннее сопротивление микрофона. Стандартное активное сопротивление обмотки порядка 250—300 *ом*, при этом чувствительность на частоте 1 000 *гц* достигает 3—5 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$.

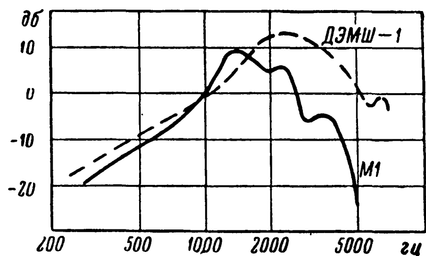


Рис. 13. Частотные характеристики электромагнитных микрофонов ДЭМШ-1 и М1.

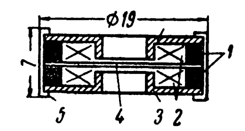


Рис. 14. Устройство электромагнитного микрофона ДЭМШ-1.

1 — кольцевые магниты; *2* — обмотка; *3* — фланцы с полыми полюсными наконечниками; *4* — мембрана; *5* — обойма.

Широкое распространение получил дифференциальный электромагнитный микрофон ДЭМШ-1, устройство которого схематически показано на рис. 14. Модернизированный тип ДЭМШ-1А имеет полюсные наконечники, ввинчивающиеся во фланцы, что обеспечивает удобную регулировку зазора между ними и мембраной. Относительная частотная характеристика микрофона ДЭМШ-1 приведена на рис. 13; его абсолютная чувствительность при одинаковых электрических параметрах с электромагнитным микрофоном от слухового аппарата ниже на 20—25 *дб*. Активное сопротивление обмотки 70—150 *ом*.

В отличие от всех других типов описанных здесь микрофонов, являющихся звукоприемниками давления, ДЭМШ-1 имеет открытую с обеих сторон мембрану, а потому является приемником градиента давления. Чувствительность такого микрофона близка к нулю в случае, если направление звука лежит в плоскости мембраны. Такое свойство при надлежащем расположении микрофона около рта говорящего (микрофон должен почти вплотную прилегать ребром

к углу рта) резко уменьшает воздействие внешних шумов, повышая тем самым эффективность работы микрофона в шумных помещениях. При использовании микрофона ДЭМШ-1 в тихих условиях можно одну его сторону заклеить или замазать пластилином, превратив его таким образом в приемник давления.

К электромагнитным микрофонам относится и унифицированный микротелефонный капсюль типа ДЭМ-4м (рис. 14), который применяется и как микрофон, и как телефон (такая обратимость свойственна и всем другим типам электромагнитных микрофонов). Он имеет диаметр 55 *мм*, высоту 30 *мм* и вес 125 *г*. В микрофонном применении рабочая полоса частот капсюля ДЭМ-4м лежит в пре-

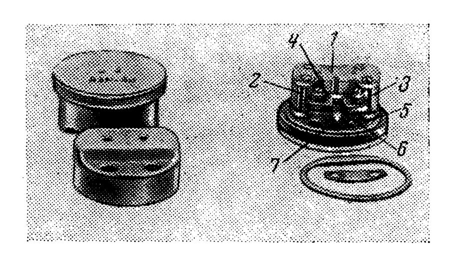


Рис. 15. Электромагнитный микротелефонный капсюль ДЭМ-4м.

1 — полюсный наконечник; *2* — латунный болт; *3* — магнит; *4* — якорь; *5* — диффузор; *6* — регулировочный винт; *7* — пружина.

делах 300—3 000 *гц*, среднее значение полного сопротивления в этой полосе не ниже 600 *ом* (активное сопротивление обмотки около 60 *ом*), а средняя чувствительность в той же полосе на нагрузке 0,5 *Мом* не ниже 10 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$.

Угольные микрофоны. В некоторых устройствах, где от микрофона требуется возможно более высокая чувствительность, а все остальные параметры могут быть минимально удовлетворительными, часто используются угольные микрофонные капсюли от микротелефонных трубок и гарнитур, применяемых на городских телефонных сетях.

В радиотехнической аппаратуре, особенно в малогабаритной и переносной (УКВ передатчики, репортерские магнитофоны), наиболее эффективно могут работать капсюли типа МК-10 и МК-59, внешний вид которых показан на рис. 16.

Капсюль МК-10 имеет штампованный металлический корпус, на дне которого укреплен неподвижный латунный электрод в виде диска с наружной поверхностью, покрытой тонким слоем палладия. Неподвижный электрод при помощи изоляционной втулки и двух шайб электрически изолирован от корпуса, на дно которого засыпается угольный порошок, сплошь покрывающий этот электрод. Подвижный электрод, выполненный из тонкой латуни в виде чашечки, прикреплен к легкой металлической фигурной диафрагме, края которой при помощи кольца крепятся по краю корпуса. Ча-

шечка, снаружи также покрытая слоем палладия, погружается в угольный порошок. Между диафрагмой и угольным порошком имеется тонкая шайба из эластичной пленки, прикрепленная сверху к подвижному электроду и ограничивающая засыпку порошка. Корпус сверху закрыт крышкой, завальцованной по краю. В крышке имеются отверстия для прохода звуковых колебаний, а сверху укреплен фигурный диск, предохраняющий при разговоре от попадания влаги и испарений внутрь корпуса. Диаметр капсюля 51 *мм*, наибольшая высота 25 *мм*, вес 60 *г*.

Капсюль МК-59 имеет более упрощенную конструкцию. Его корпус выполнен из пластмассы, неподвижный электрод (в виде ча-

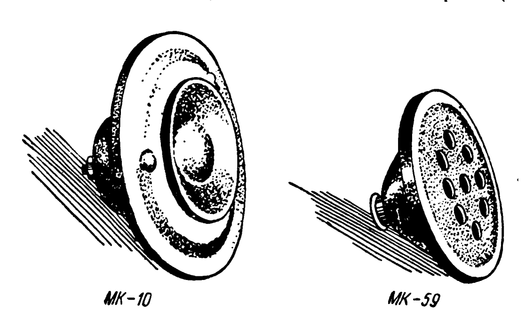


Рис. 16. Внешний вид угольных микрофонных капсюлей МК-10 и МК-59.

шечки) впрессован в дно корпуса, а подвижный (чашечка немного меньшего размера) крепится к очень тонкой конусообразной металлической диафрагме, имеющей ряд выдавленных по образующей ребер, которые придают диафрагме нужную жесткость. Между электродами (поверхность их покрыта палладием), засыпан угольный порошок, уровень которого ограничивается шайбой из тонкого и прочного шелка, приклеенного по внешнему краю внутри к корпусу. Диафрагма прижимается по краю корпуса металлическим кольцом, поверх кладется кружок тонкой пленки из полистирола и все это закрывается металлической крышкой (с девятью отверстиями), завальцованной по краю корпуса. Для коррекции частотной характеристики в корпусе сделаны два отверстия, заклеенных тонким шелком. Диаметр этого капсюля 37 *мм*, высота 15 *мм*, вес 15 *г*.

Описанные капсюли могут работать при любом положении, так как их конструкция обеспечивает неразрывность микрофонной цепи вследствие того, что подвижный электрод всегда находится в порошке, сохраняя тем нужный контакт между электродами. В этом их большое преимущество перед капсюлями старых типов (например, № 5 ЦБ и МБ) с хрупкой угольной мембраной, работающими нормально только в вертикальном положении. Покрытие металлических электродов палладием (веществом, нейтральным для угольного порошка) позволило избавиться от необходимости применения угольных электродов, что привело к значительному повышению прочности и улучшению других качеств угольных микрофонов.

Действие угольного микрофона основано на свойстве угольного порошка изменять свое сопротивление в зависимости от силы сжа-

тия зерен, составляющих порошок. Угольный капсюль, таким образом, является своеобразным переменным сопротивлением, имеющим динамический характер. Динамическое сопротивление капсюля зависит от сорта угольного порошка и для каждого типа не должно превышать определенной величины. По динамическому сопротивлению угольные микрофоны подразделяются на низкоомные (НО), среднеомные (СО) и высокоомные (ВО). Первые имеют динамическое сопротивление около 50 *ом* и работают при токе питания до 80 *ма*, вторые — 70—150 *ом* и ток питания не более 50 *ма* и третьи — 150—300 *ом* и ток питания не более 25 *ма*.

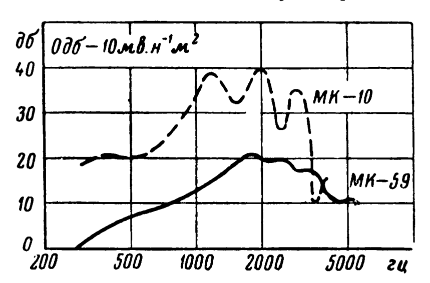


Рис. 17. Частотные характеристики угольных микрофонных капсюлей МК-10 и МК-59.

Чувствительность угольных микрофонов особенно велика в области средних частот (от 1 до 3—4 *кгц*), что способствует достижению лучшей разборчивости (артикуляции) речи. Частотные характеристики капсюлей МК-10 и МК-59 показаны на рис. 17, из которого видно, что максимальная чувствительность капсюля МК-10 на частоте 2 *кгц* достигает 1 000 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$, при общей неравномерности в полосе 300—3 000 *гц* (номинальная полоса частот для телефонной связи) порядка 22—25 *дб*. Капсюль МК-59 на той же частоте имеет 100—200 $мв \cdot н^{-1} \cdot м^2$ при такой же неравномерности.

Для нормальной работы угольного микрофона он должен быть включен в цепь постоянного тока, величина которого не должна превышать определенной для каждого капсюля величины, указанной выше. При большом токе спекается и портится угольный порошок, возникают нелинейные искажения, шорохи и трески. При очень малом токе резко снижается чувствительность. Поэтому в зависимости от номинального тока капсюля и сопротивления входной цепи необходимо подбирать соответствующее напряжение питания.

Угольный капсюль может эффективно работать и при пониженном токе питания, особенно если он применяется с ламповым или транзисторным усилителем[1]. Снижение чувствительности в этом случае может быть легко компенсировано повышением коэффициента усиления. При этом улучшается частотная характеристика, значительно снижается уровень внутренних шумов, повышается стабильность и надежность работы.

---

[1] Особенности работы угольного микрофона при пониженном токе описаны в книге И. Е. Финклера — Электроакустические характеристики телефонного тракта, Связьиздат, 1961.

Основные электрические и конструктивные данные микрофонов

Тип микрофона	Номинальный диапазон частот, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Номинальное сопротивление нагрузки, *ом*	Стандартный уровень осевой чувствительности, *дб*	Чувствительность на частоте 1 000 *гц* при номинальной активной нагрузке $мв \cdot н^{-1} \cdot м^{2}$	Средняя разность чувствительности между фронтом и тылом, *дб*	Вид преобразования	Вид характеристики направленности	Габариты, *мм*	Вес (с подставкой или штативом), *г*
РДМ	100—5 000	12	200/600[1]	—72	1,1/2	—	*Д*	*НН*	⌀ 75×83	750
СДМ	60—8 000	12	200/600[1]	—72	1,1/2	—	*Д*	*НН*	⌀ 83×120	400
МДС	50—10 000	8,5	600	—72	2	—	*Д*	*НН*	⌀ 45×145	950
МД-30	60—8 000	12	200/600[1]	—72	1,1/2	—	*Д*	*НН*	⌀ 56×120	600[3]
МД-35	50—10 000	8	250	—69	1,8	—	*Д*	*НН*	⌀ 50×97	450[3]
МД 36	100—5 000	25	250	—72	1,25	12	*Д*	*ОН*	⌀ 60×75	450
МД-37	60—8 000	12	250	—72	1,25	—	*Д*	*НН*	⌀ 40×80	250[3]
МД-38	50—15 000	8	250/60[1]	—78	0,63/0,3	—	*Д*	*НН*	⌀ 30×140	200[3]
МД-41	100—5 000	25	500 000	—	30	—	*Д*	*НН*	94×85×63	560
МД-42	100—5 000	12	250	—72	1,25	—	*Д*	*НН*	120×70×50	530[3]
МД-44	100—8 000	12	250	—78	0,63	10	*Д*	*ОН*	⌀ 33×50	200
МД-45	50—15 000	12	250	—78	0,63	12	*Д*	*ОН*	⌀ 37×115	300[3]
МД-46	100—5 000	25	250	—72	1,25	12	*Д*	*ОН*	⌀ 50×65	1 400
МД-47	100—10 000	20[2]	500 000	—	15	—	*Д*	*НН*	94×71×32	260
МД-55	60—8 000	12	250	—72	1,25	—	*Д*	*НН*	⌀ 60×80	1 650

Тип микрофона	Номинальный диапазон частот, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Номинальное сопротивление нагрузки, *ом*	Стандартный уровень осевой чувствительности, *дб*	Чувствительность на частоте 1 000 *гц* при номинальной активной нагрузке $мв \cdot н^{-1} \cdot м^{2}$	Средняя разность чувствительности между фронтом и тылом, *дб*	Вид преобразования	Вид характеристики направленности	Габариты, *мм*	Вес (с подставкой или штативом), *г*
МД-57	50—13 000	10	250	—78	0,63	—	*Д*	*НН*	∅ 42×75	850
МД-59	50—15 000	8	250	—78	0,63	—	*Д*	*НН*	∅ 34×120	600
МД-61	100—10 000	12	250	—88	0,2	8	*Д*	*ОН*	∅ 20×75	50[3]
МД-62	100—10 000	12	250	—88	0,2	—	*Д*	*НН*	∅ 20×75	50[3]
МДМ-1	100—5 000	12	3 000	—	2,5	—	*Д*	*ОН*	∅ 67×98	800
МДО-1	150—8 000	15	250	—78	0,63	15	*Д*	*ОН*[4]	∅35×145	1 200
МЛ-10Б	50—10 000	5	600	—76	1,25	—	*Л*	*ДН*	75×80×205	1 900
МЛ-11Б	70—10 000	12	250	—75	0,9	13	*Л*	*ОН*	∅ 60×220	1 550
МЛ-11М	70—10 000	12	250	—75	0,9	12	*Л*	*ОН*	∅ 65×320	2 400
МЛ-15	50—10 000	5	250	—76	0,8	—	*Л*	*ДН*	54×70×220	1 350[3]
МЛ-16	50—15 000	10	250	—78	0,63	—	*Л*	*ДН*	∅ 54×225	1 500
МЛ-17	70—10 000	12	250	—76	0,8	12	*Л*	*ОН*	∅ 55×293	1 700
МДЛ[5]	50—10 000	12	600	—72	2	—	*Д*	*НН*	∅ 80×200	2 000
МДЛ[5]	40—10 000	8	600	—74	1,5	—	*Л*	*ДН*	∅ 80×200	2 000
МДЛ[5]	40—10 000	12	600	—70	2,5	15—16	*ЛД*	*ОН*	∅ 80×200	2 000
10А-1[5]	50—8 000	10	140	—76	0,6	—	*Д*	*НН*	85×100×260	2 000
10А-1[5]	50—8 000	8	180	—78	0,5	—	*Л*	*ДН*	85×100×260	2 000
10А-1[5]	50—8 000	7	250	—75	0,9	16	*ЛД*	*ОН*	85×100×260	2 000

Продолжение приложения

Тип микрофона	Номинальный диапазон частот, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Номинальное сопротивление нагрузки, *ом*	Стандартный уровень осевой чувствительности, *дб*	Чувствительность на частоте 1 000 *гц* при номинальной активной нагрузке $мв \cdot н^{-1} \cdot м^{2}$	Средняя разность чувствительности между фронтом и тылом, *дб*	Вид преобразования	Вид характеристики направленности	Габариты, *мм*	Вес (с подставкой или штативом), *г*
82А-1	70—8 000	10	250	—73	1,1	12	*Д*	*ОН*	⌀ 78×100	460[3]
82А-2	60—8 000	12	350	—71	1,75	15—22	*Д*	*ОН*	⌀ 62×84	450[3]
82А-5М	50—10 000	10	250	—69	1,75	9—18	*Д*	*ОН*	⌀ 44×130	175[3]
82А-9	100—8 000	12	240	—74	1	15	*Д*	*ОН*	⌀ 28×115	130[3]
МК-3	40—15 000	6	250	—66	2,5	12	*К*	*ОН*	⌀ 52×190	480[3]
МК-5А	20—20 000	4	250	—73	1,1	—	*К*	*НН*	⌀ 20×110	75[3]
19А-1	50—10 000	5	250	—60	5	15	*К*	*ОН*	⌀ 59×130	400
19А-3	40—12 000	5	160	—55	7	20	*К*	*ОН*	⌀ 42×220	360
19А-4	50—12 000	10	250	—58	6	10—20	*К*	*НН, ОН*	⌀ 31×135	120[3]
19А-9	40—15 000	10	37±10	—66	2,5	10	*К*	*ОН*	40×50×200	200[3]

Условные обозначения: *Д* — динамический катушечный; *Л* — ленточный; *К* — конденсаторный; *НН* — ненаправленная круговая; *ОН* — однонаправленная (кардиодная); *ДН* — двухнаправленная (восьмерка).

[1] Имеется выходной трансформатор.

[2] В полосе 1—10 *кгц* неравномерность не больше 12 *дб*.

[3] Вес без кабеля и подставки, а для конденсаторных микрофонов — вес капсюля с входным каскадом без питающего устройства.

[4] Односторонняя остронаправленная характеристика, угол приема ±60°.

[5] Комбинированный микрофон с переключаемыми характеристиками направленности.

Цена 06 коп.